

**TD. N°3. Thermodynamique. Filière SMA-SMPC. S1**

**Exercice 1 :**

Au cours d'une transformation réversible élémentaire d'un corps pur sous une seule phase, la quantité de chaleur élémentaire échangée avec le milieu extérieur s'exprime par :

$$\delta Q = c_V dT + \ell dV \text{ ou } \delta Q = c_P dT + h dP$$

- 1) En raisonnant successivement à pression constante et à volume constant, trouver les expressions de  $\ell$  et de  $h$  en fonction de  $c_P - c_V$  et des dérivées partielles de  $T(P, V)$ .
- 2) Dans le cas du gaz parfait, retrouver les expressions de  $\ell$  et de  $h$ . On donne  $c_P - c_V = n.R$ .
- 3) En variables  $T$  et  $V$ , pour un gaz parfait, vérifier que  $\delta Q$  n'est pas une différentielle totale exacte. Qu'en est-il de l'expression  $\left(\frac{\delta Q}{T}\right)$  ?

**Exercice 2 :**

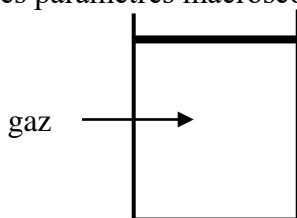
Deux liquides  $L_1$  et  $L_2$ , incompressibles, de températures respectives  $T_1$  et  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ), sont isolés du milieu extérieur et mis en contact thermique l'un avec l'autre. On désigne par  $C_1$  et  $C_2$  les capacités calorifiques respectives des deux liquides.

- 1) Déterminer l'expression de la température d'équilibre  $T_e$ .
- 2) Dans le cas où les deux liquides sont identiques de capacité calorifique  $C_1 = C_2 = C$ .
  - a- Déterminer la variation d'entropie  $\Delta S_1$  de  $L_1$ .
  - b- Déterminer la variation d'entropie  $\Delta S_2$  de  $L_2$ .
  - c- Déterminer la variation d'entropie de l'univers  $\Delta S$ .
  - d- Vérifier la validité du second principe.

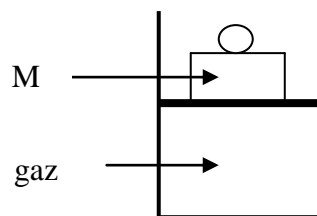
**Exercice 3 :**

Une mole d'un gaz parfait est enfermée dans un cylindre par un piston de masse  $m_0$  et de section  $S$ . Le piston peut se déplacer sans frottement (voir figure ci-contre). Les parois du cylindre ainsi que le piston sont perméables à la chaleur. Le milieu extérieur du cylindre est l'atmosphère qu'on considère comme réservoir de température constante égale à  $T_0$ .

Partant de l'état d'équilibre initial du système caractérisé par  $(P_1, V_1, T_1)$ , on ajoute progressivement sur le piston des masses très petites dont la somme est égale à  $M$ . Soit  $(P_2, V_2, T_2)$  les paramètres macroscopiques de l'état d'équilibre final.



Etat initial



Etat final

On négligera la pression atmosphérique et on donne la constante des gaz parfaits  $R = 8,32 \text{ J/mole.K}$  et l'accélération de la pesanteur  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

On exprimera les résultats en fonction des données de l'exercice :  $m_0$ ,  $T_0$ ,  $R$  et  $M$ .

- 1) Préciser la nature de la transformation.
- 2) Déterminer le travail reçu par le gaz.
- 3) Déterminer la variation d'entropie du gaz  $\Delta S_{gaz}$ .
- 4) Déterminer la variation d'entropie du milieu extérieur  $\Delta S_{ext}$ .
- 5) Déterminer la variation d'entropie de l'univers  $\Delta S_{uni}$ .
- 6) Le deuxième principe de la thermodynamique est-il vérifié ?

#### **Exercice 4 :**

Dans une enceinte rigide on met en contact thermique un bloc de fer de masse  $m_f = 50 \text{ g}$  dont la température est  $T_f = 400 \text{ K}$  avec un bloc de plomb de masse  $m_p = 100 \text{ g}$  dont la température est  $T_p = 200 \text{ K}$ .

- 1) A l'aide du premier principe établir l'équation qui régit les échanges de chaleur entre les deux blocs. En déduire la température d'équilibre du système : « fer + plomb ».
- 2) Déterminer la variation d'entropie du système : « fer + plomb ».

On donne : Chaleur spécifique du fer  $c_f = 447 \text{ J/kg.K}$  et du plomb  $c_p = 128 \text{ J/kg.K}$

#### **Exercice 5 :**

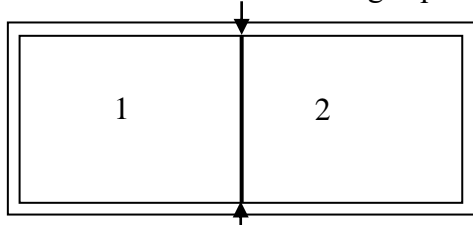
Une masse d'eau de 10 g sous la forme d'un cube de glace dont la température est de  $-10^\circ\text{C}$  est placée dans un lac d'eau dont la température est de  $15^\circ\text{C}$ . On considérera le système formé par le cube de glace et le lac comme un système isolé. L'échange de chaleur a lieu donc uniquement entre les deux composantes du système. Déterminer :

- 1) La variation d'entropie du cube de glace  $\Delta S_{cub}$ .
- 2) La variation d'entropie du lac  $\Delta S_{lac}$ .
- 3) la variation d'entropie de l'univers  $\Delta S_{uni}$ . Commenter.

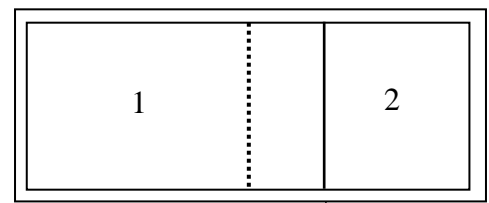
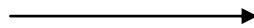
On donne : Chaleur spécifique de la glace  $c_g = 2220 \text{ J/kg.K}$ . Chaleur spécifique de l'eau liquide  $c_\ell = 4180 \text{ J/kg.K}$ . Chaleur latente de fusion de la glace  $L_f = 334 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ .

#### **Exercice 6 :**

Un cylindre rigide et thermiquement isolé est divisé en deux parties égales par un piston conducteur de la chaleur. Initialement le piston est «bloqué» au milieu du cylindre. Une moitié de volume  $V_0 = 1 \text{ litre}$  renferme de l'air à  $T_0 = 300 \text{ K}$  et sous une pression  $P_1 = 2 \text{ atm}$ . L'autre moitié de volume  $V_0 = 1 \text{ litre}$  renferme de l'air à  $T_0 = 300 \text{ K}$  et sous une pression  $P_1 = 1 \text{ atm}$ . L'air est considéré comme un gaz parfait.



**Piston fixé du piston à l'état initial.**



**Piston libre du piston à l'état final.**

Lorsqu'on libère le piston, celui-ci se déplace et ne s'arrête que lorsque l'équilibre, mécanique et thermique entre les deux parties du système, est atteint.

Calculer la température finale, la pression finale et la variation d'entropie du système constitué des deux parties du cylindre.

## CHALEUR SPECIFIQUE ET CAPACITE CALORIFIQUE. (Complément de cours)

Soit un système thermodynamique (un gaz par exemple) de masse  $m$  formé de «  $n$  » moles de masse molaire  $M$  tel que  $n = \frac{m}{M}$ . Soit :

- $c_p$  (petit c) = chaleur spécifique molaire à  $P = \text{constante}$  ; ( $J.K^{-1}.mole^{-1}$ ),
- $c_v$  (petit c) = chaleur spécifique molaire à  $V = \text{constante}$  ; ( $J.K^{-1}.mole^{-1}$ ),
- $c_p^0$  (petit c) = chaleur spécifique massique à  $P = \text{constante}$  ; ( $J.K^{-1}.kg^{-1}$ )
- $c_v^0$  (petit c) = chaleur spécifique massique à  $V = \text{constante}$  ; ( $J.K^{-1}.kg^{-1}$ )
- $C_p$  (grand c) = capacité calorifique à  $P = \text{constante}$  ; ( $J.K^{-1}$ )
- $C_v$  (grand c) = capacité calorifique à  $V = \text{constante}$  ; ( $J.K^{-1}$ )

On a toujours :  $C_p = nc_p = mc_p^0$ , et  $C_v = nc_v = mc_v^0$  avec :  $C_v = \left[ \frac{\delta Q}{dT} \right]_V$  et  $C_p = \left[ \frac{\delta Q}{dT} \right]_P$

Dans cette définition, le rapport n'est pas une dérivée mais le rapport de deux quantités qui a une signification expérimentale. Mais dans :

$$C_V = \left[ \frac{\partial U}{\partial T} \right]_V \quad \text{et} \quad C_P = \left[ \frac{\partial H}{\partial T} \right]_P$$

Le rapport est bien une dérivée partielle.

Pour un gaz parfait :  $C_p - C_v = nR$  et  $c_p - c_v = R$  ;  $M.(c_p^0 - c_v^0) = R$  et  $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{C_p}{C_v}$

Pour un gaz parfait monoatomique :  $c_v = \frac{3}{2}.R$  et  $c_p = \frac{5}{2}.R$

Pour un gaz parfait diatomique :  $c_v = \frac{5}{2}.R$  et  $c_p = \frac{7}{2}.R$